

# Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo (DM 14/01/2008)



**Giovanni Plizzari**

*plizzari@ing.unibs.it*

Università di Brescia

*La progettazione delle strutture con le nuove Norme Tecniche*

*Collegio dei costruttori della Provincia di Brescia, 9 febbraio 2010*

*G. Plizzari*

Fino a quando deve essere garantita la sicurezza?

## Vita nominale delle strutture

La vita nominale di un'opera strutturale  $V_N$  è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella Tab. 2.4.I e deve essere precisata nei documenti di progetto.

**Tabella 2.4.I** – Vita nominale  $V_N$  per diversi tipi di opere

| TIPI DI COSTRUZIONE |  | Vita Nominale $V_N$<br>(in anni) |
|---------------------|--|----------------------------------|
| 1                   | Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva <sup>1</sup>                   | ≤ 10                             |
| 2                   | Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale | ≥ 50                             |
| 3                   | Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica    | ≥ 100                            |

1) Le verifiche sismiche di strutture provvisorie o in fase costruttiva possono omettersi quando le relative durate previste in progetto siano inferiori a 2 anni.

## Classi d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

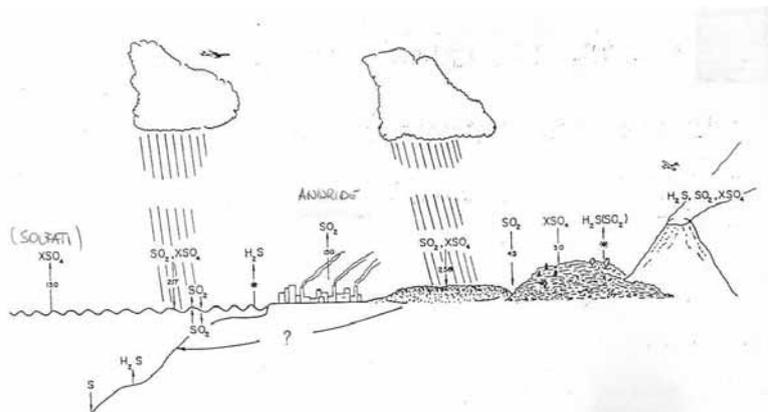
**Classe I:** Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

**Classe II:** Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso *III* o in Classe d'uso *IV*, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

**Classe III:** Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso *IV*. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

**Classe IV:** Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

## Azioni entropiche



Effetti di degrado esogeno della struttura: alterazione a seguito di agenti esterni alla struttura delle caratteristiche dei materiali (solfati, cloruri, gelo-disgelo, anidride carbonica, sostanze chimiche di provenienza industriale)

## Degrado

*La struttura deve essere progettata così che il degrado nel corso della sua vita nominale, purché si adotti la normale manutenzione ordinaria, non pregiudichi le sue prestazioni in termini di resistenza, stabilità e funzionalità, portandole al di sotto del livello richiesto dalle presenti norme.*

*Le misure di protezione contro l'eccessivo degrado devono essere stabilite con riferimento alle previste condizioni ambientali.*

*La protezione contro l'eccessivo degrado deve essere ottenuta attraverso un'opportuna scelta dei dettagli, dei materiali e delle dimensioni strutturali, con l'eventuale applicazione di sostanze o ricoprimenti protettivi, nonché con l'adozione di altre misure di protezione attiva o passiva.*

## Cause del degrado del calcestruzzo

---

1. CAUSE INTRINSECHE, ridotte notevolmente grazie a:
  - Appropriata progettazione dell'impasto
  - Corretta esecuzione del getto
2. AZIONI ESTERNE
  - Attacchi chimici
  - Attacchi fisico – meccanici
  - Penetrazione di sostanze nocive

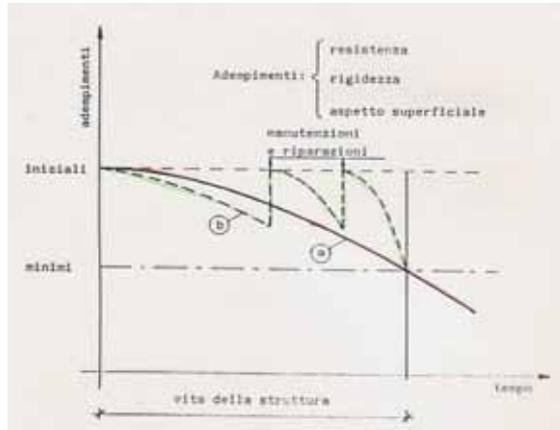
## Degrado del cls

---



## Costo globale di una struttura (relativo all'intero ciclo di vita)

G. Pizzari



Una struttura durevole deve soddisfare tutte le richieste di buon comportamento in esercizio, resistenza e stabilità *per tutta la sua vita attesa*, senza eccessive perdite di utilità e senza la necessità di prevedere manutenzioni eccessive.

*Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010*

9/74

G. Pizzari

Durabilità

*Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010*

10/74

## Durabilità (Normativa Tecnica)

---

**La *durabilità*, definita come conservazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali e delle strutture, proprietà essenziale affinché i livelli di sicurezza vengano *garantiti durante tutta la vita dell'opera*, deve essere garantita attraverso una opportuna scelta dei materiali e un opportuno dimensionamento delle strutture, comprese le eventuali misure di protezione e manutenzione. I prodotti ed i componenti utilizzati per le opere strutturali devono essere chiaramente identificati in termini di caratteristiche meccanico-fisico-chimiche indispensabili alla valutazione della sicurezza e dotati di idonea qualificazione, così come specificato al Cap. 11 delle presenti norme.**

## Durabilità (Normativa Tecnica)

---

Per garantire la durabilità delle strutture in calcestruzzo armato ordinario o precompresso, esposte all'azione dell'ambiente, si devono adottare i provvedimenti atti a limitare gli effetti di degrado indotti dall'attacco chimico, fisico e derivante dalla corrosione delle armature e dai cicli di gelo e disgelo.

A tal fine in fase di progetto la prescrizione, valutate opportunamente le condizioni ambientali del sito ove sorgerà la costruzione o quelle di impiego, deve fissare le caratteristiche del calcestruzzo da impiegare (composizione e resistenza meccanica), i valori del copriferro e le regole di maturazione.

Ai fini della valutazione della durabilità, nella formulazione delle prescrizioni sul calcestruzzo, si potranno prescrivere anche prove per la verifica della resistenza alla penetrazione agli agenti aggressivi, ad esempio si può tener conto del grado di impermeabilità del calcestruzzo. A tal fine può essere determinato il valore della profondità di penetrazione dell'acqua in pressione in mm.

Per la prova di determinazione della profondità della penetrazione dell'acqua in pressione nel calcestruzzo indurito vale quanto indicato nella norma UNI EN 12390-8:2002.

Al fine di ottenere la prestazione richiesta in funzione delle condizioni ambientali, nonché per la definizione della relativa classe, si potrà fare utile riferimento alle indicazioni contenute nelle Linee Guida sul calcestruzzo strutturale edite dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ovvero alle norme UNI EN 206-1:2006 ed UNI 11104:2004.

## Durabilità

---

*L'impiego di un calcestruzzo durevole fa aumentare il costo del materiale del 10-20% , ma il costo dell'opera per non più dell'1%. Tuttavia i costi di restauro per un opera in calcestruzzo non durabile possono essere pari a 100 volte il costo originale dell'opera quando il degrado è così avanzato da rendere la stessa inservibile per le originali funzioni.*

**Al fine di ottenere la prestazione richiesta il progettista potrà fare utile riferimento alle indicazioni contenute nelle «linee guida », ovvero nelle norme UNI EN 206-1 e UNI 11104.**

## Durabilità delle opere in c.a.

---

Per garantire durabilità delle strutture in c.a. esposte all'azione ambientale, si devono adottare provvedimenti atti a limitare gli effetti del degrado indotto dall'attacco chimico-fisico e dalla corrosione delle armature.

Il Progettista deve:

Valutate le condizioni ambientali e d'impiego  
Definita la vita utile della struttura

Determinare le caratteristiche del calcestruzzo da impiegare  
(composizione e resistenza)

Determinare i valori del copriferro

Definire le regole di maturazione

**Linee Guida sul calcestruzzo strutturale (Servizio Tecnico C.S.LL.PP.) e Norme UNI EN 206-1**

## Quale alternativa?



Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010

15/74

## Prove di corrosione

**CORROSIONE ACCELERATA IN ELEMENTI FESSURATI**  
PREPARAZIONE DEI PROVINI

SCHEMA DEL CIRCUITO REALIZZATO

ALIMENTATORE

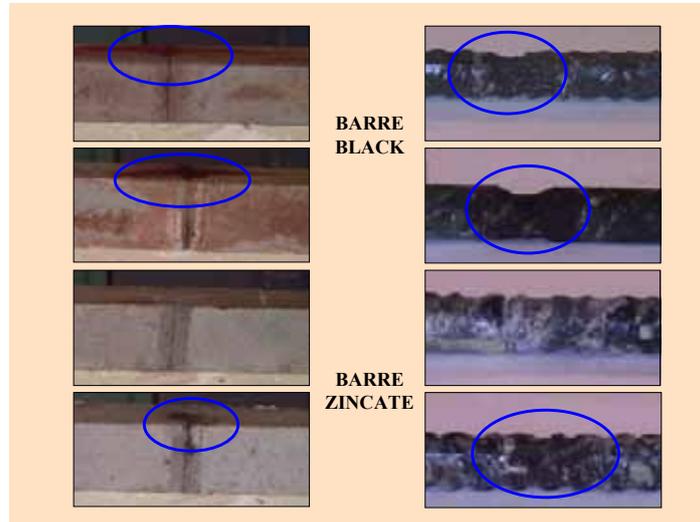
CREAZIONE FESSURA  
(Lamierino da 1 mm)

STRATO SUPERFICIALE DI RESINA EPOSSIDICA  
(3 cm liberi)

Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010

16/74

## Effetti della corrosione



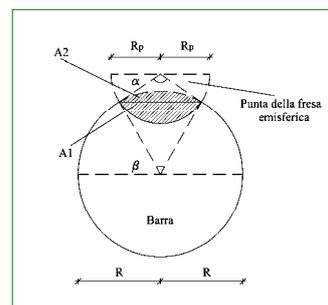
Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010

17/74

## Caratteristiche meccaniche delle barre corrose



SIMULAZIONE DELLA CORROSIONE



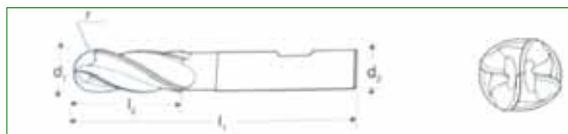
DIAMETRI FRESE:

8 mm

12 mm

16 mm

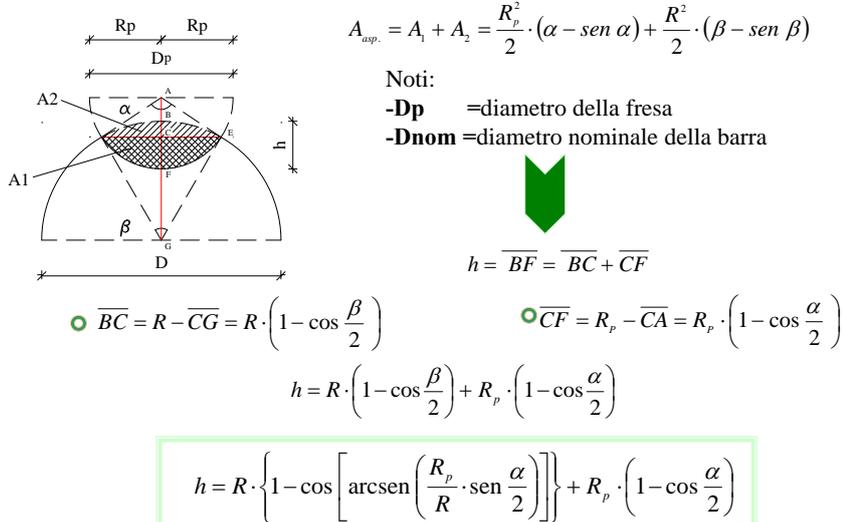
20 mm



Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010

18/74

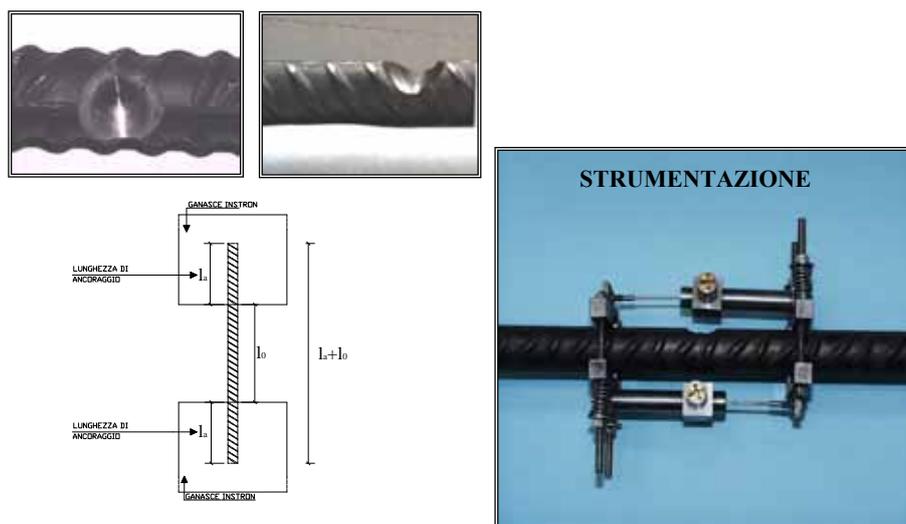
## Simulazione della corrosione localizzata



Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010

19/74

## Risultato ottenuto con la fresatura



Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010

20/74

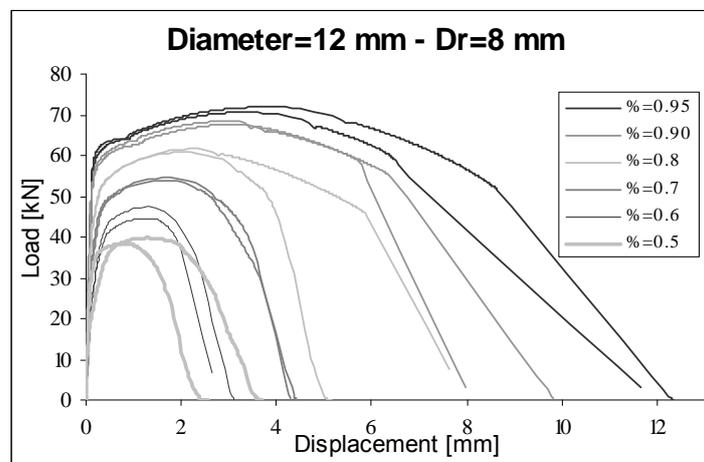
## Programma sperimentale

### Caratteristiche dei materiali

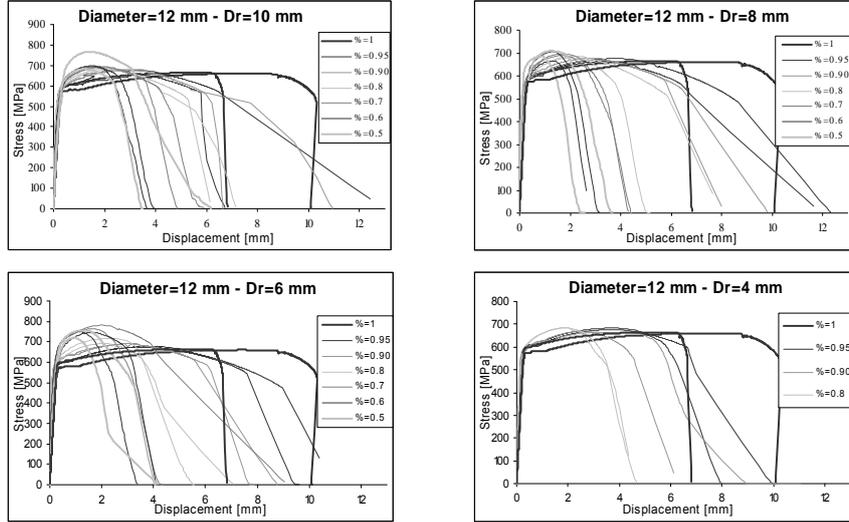
| Diam.<br>[mm] | $f_{sy}$<br>[MPa] | $f_{st}$<br>[MPa] |
|---------------|-------------------|-------------------|
| 12            | 526               | 613               |
| 16            | 513               | 606               |
| 20 ls         | 491               | 570               |
| 20 ms         | 534               | 610               |
| 20 hs         | 550               | 628               |
| 24            | 555               | 597               |

## Risultati sperimentali

### Diagrammi carico-spostamento



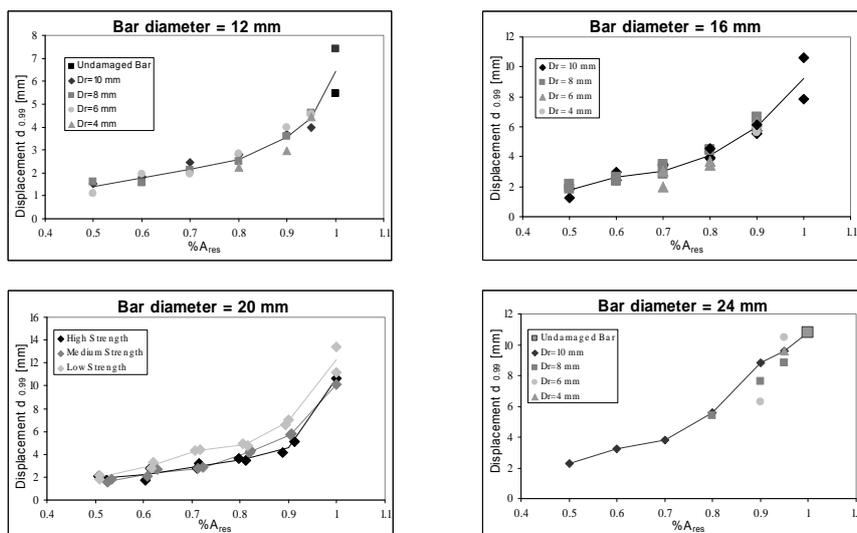
## Diagrammi sforzo-spostamento



Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010

23/74

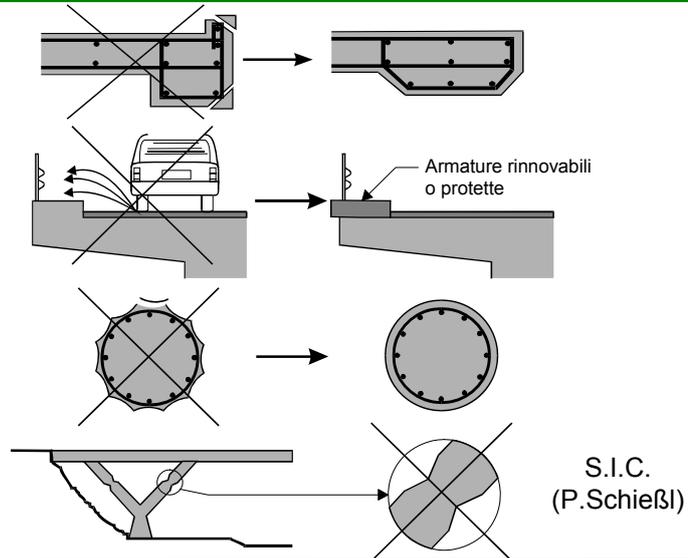
## Deformazione ultima delle barre corrose



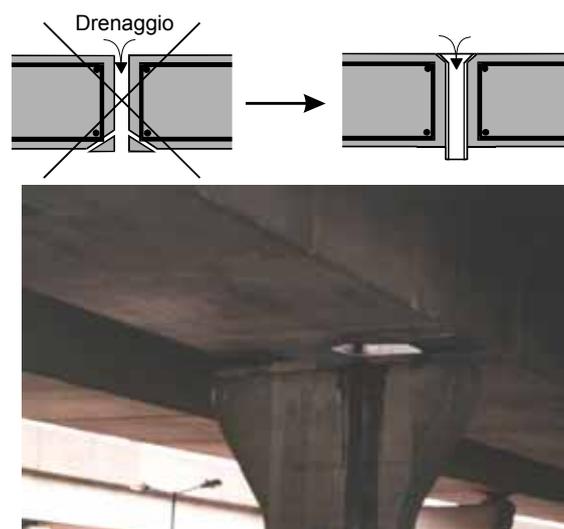
Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010

24/74

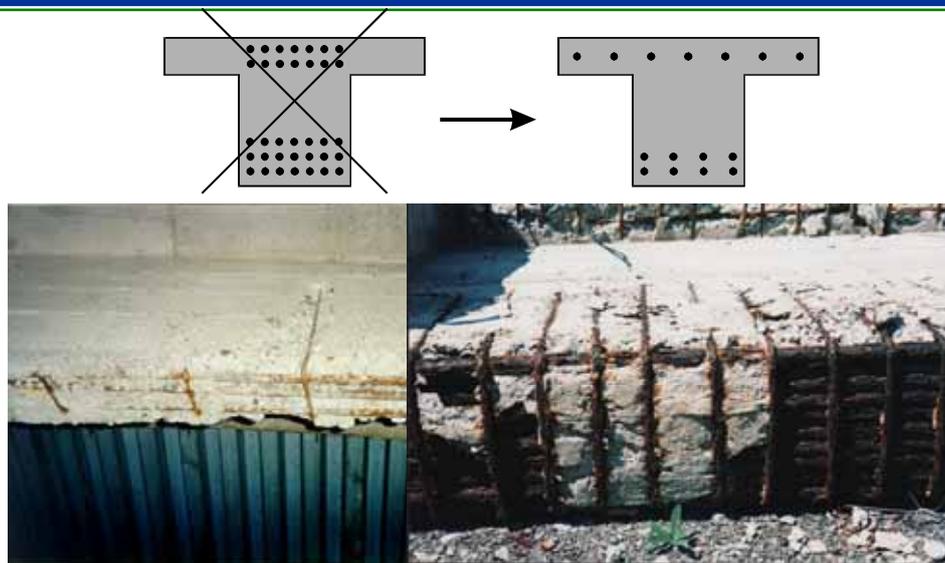
## Durabilità e progettazione



## Durabilità e progettazione



## Durabilità e progettazione



*Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010*

27/74

## Prevenzione

**La prevenzione si basa anzitutto su**

- qualità del calcestruzzo**
- spessore di copriferro**

## In sede di progettazione

---

- ↪ **Rapporto acqua /cemento**
- ↪ **Tipo di cemento**
- ↪ **Minimo contenuto di cemento**
- ↪ **Copriferro**

## In sede di costruzione

---

- ↪ **Controllo copriferri**
- ↪ **Costipazione**
- ↪ **Maturazione**
- ↪ **Particolari costruttivi**

## La progettazione del calcestruzzo

## Specifica del calcestruzzo

Il calcestruzzo può essere specificato a:

- prestazione garantita**;
- composizione**.

### Prestazione garantita

Calcestruzzo le cui proprietà richieste e caratteristiche addizionali sono specificate al produttore il quale è responsabile della fornitura di un calcestruzzo conforme alle proprietà richieste e alle caratteristiche addizionali.

Rappresenta la modalità di specifica del calcestruzzo più diffusa, in particolare per le grandi opere

### Composizione (richiesta)

Calcestruzzo la cui composizione e i materiali componenti da utilizzare sono specificati al produttore il quale ha la responsabilità di produrre un calcestruzzo con la composizione specificata.

Rappresenta la modalità di specifica del calcestruzzo nel caso di lavori di modesta entità.

## Calcestruzzo a composizione: Requisiti di base

---

- a) Una richiesta di conformità alla UNI EN 206;
- b) Il dosaggio di cemento;
- c) Il tipo e la classe di resistenza del cemento;
- d) Il rapporto a/c o la consistenza espressa come classe o, in casi speciali, come valore di riferimento;
- e) Il tipo, le categorie e il contenuto massimo di cloruri nell'aggregato; nel caso di calcestruzzo leggero oppure pesante, anche la massa volumica massima o rispettivamente minima dell'aggregato<sup>1</sup>;
- f) La dimensione massima nominale dell'aggregato ed eventuali limitazioni granulometriche;
- g) Il tipo e la quantità di additivo e l'aggiunta, se impiegata;
- h) Se vengono impiegati additivi, o aggiunte, la provenienza di tali componenti e del cemento, in sostituzione delle caratteristiche non altrimenti definibili.

Requisiti aggiuntivi possono essere richiesti qualora ritenuti necessari (Es: Temperatura di getto)

1- Calcestruzzo leggero:  $MV \leq 2000 \text{ kg/m}^3$

Calcestruzzo pesante:  $MV > 2600 \text{ kg/m}^3$

## Specifica del calcestruzzo a prestazione

---

### Calcestruzzo a prestazione - Requisiti di base

- a) Una richiesta di conformità alla UNI EN 206;
- b) La classe di resistenza a compressione;
- c) Le classi di esposizione (omissis);
- d) La dimensione massima nominale dell'aggregato e la classe di contenuto in cloruri;
- e) La massa volumica (limitatamente ai calcestruzzi leggeri o pesanti)<sup>1</sup>;
- f) La classe di consistenza (per il calcestruzzo preconfezionato o confezionato in cantiere);

Requisiti aggiuntivi possono essere richiesti qualora ritenuti necessari (Es: Sviluppo di calore)

1- Calcestruzzo leggero:  $MV \leq 2000 \text{ kg/m}^3$

Calcestruzzo pesante:  $MV > 2600 \text{ kg/m}^3$

## Classi di resistenza del calcestruzzo

Tabella 4.1.I – Classi di resistenza

| CLASSE DI RESISTENZA |         |               |
|----------------------|---------|---------------|
|                      | C8/10   |               |
|                      | C12/15  |               |
| CLS STRUTTURALE      | C16/20  |               |
|                      | C20/25  |               |
| DURABILITA'          | C25/30  | UNI 11104     |
|                      | C28/35  |               |
|                      | C32/40  |               |
|                      | C35/45  |               |
|                      | C40/50  |               |
|                      | C45/55  |               |
|                      | C50/60  |               |
|                      | C55/67  |               |
|                      | C60/75  |               |
|                      | C70/85  | BENESTARE STC |
|                      | C80/95  |               |
|                      | C90/105 |               |

Tabella 4.1.II – Impiego delle div

| STRUTTURE DI DESTINAZIONE   | CLASSE DI RESISTENZA MINIMA |
|---|-----------------------------|
| Per strutture non armate o a bassa percentuale di armatura (§ 4.1.11) | C8/10                       |
| Per strutture semplicemente armate                                    | C16/20                      |
| Per strutture precomprese   | C28/35                      |

*Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010*

35/74

## Classi di consistenza

La consistenza del calcestruzzo viene specificata mediante classi di consistenza in accordo a UNI EN 206.

| CLASSE DI ABBASSAMENTO AL CONO (SLUMP) |                           |
|--|---------------------------|
| CLASSE                                 | ABBASSAMENTO AL CONO [mm] |
| S1                                     | 10 – 40                   |
| S2                                     | 50 – 90                   |
| S3                                     | 100 – 150                 |
| S4                                     | 160 – 210                 |
| S5                                     | > 220                     |

Lo slump test è idoneo per impasti plastico-fluidi.

| CLASSE DI SPANDIMENTO |                           |
|-----------------------|---------------------------|
| CLASSE                | DIAMETRO SPANDIMENTO [mm] |
| F1                    | ≤340                      |
| F2                    | 350 – 410                 |
| F3                    | 420 – 480                 |
| F4                    | 490 – 550                 |
| F5                    | 560 – 620                 |
| F6                    | ≥ 620                     |

La prova di spandimento è idoneo per impasti fluidi.

Per gli impasti SCC si impiegano specifiche modalità di prova

*Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010*

36/74

## Lavorabilità: abbassamento al cono di Abrams

### SLUMP

Sicuramente è la misura più diffusa in Italia per la lavorabilità del calcestruzzo. Si determina introducendo il conglomerato in un tronco di cono in acciaio (diametro inferiore 200 mm, diametro superiore 100 mm, altezza 300 mm) che, a riempimento avvenuto, viene sollevato.

L'abbassamento della focaccia rispetto all'altezza iniziale prende il nome di *slump*.



| CLASSE DI CONSISTENZA | ABBASSAMENTO AL CONO DI ABRAMS (SLUMP) in mm |
|-----------------------|--|
| S1                    | 10 - 40                                      |
| S2                    | 50 - 90                                      |
| S3                    | 100 - 150                                    |
| S4                    | 160 - 210                                    |
| S5                    | > 210  |

UNI EN 206-1

Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010

37/74

## Lavorabilità: spandimento

### SPANDIMENTO

Nella prova per la misura del diametro di spandimento il calcestruzzo viene introdotto all'interno del cono appoggiato su una tavola incernierata su uno dei lati. Dopo il riempimento, il cono di acciaio viene sollevato lasciando il calcestruzzo libero di spandersi.

Si procede, quindi, a sollevare e ad abbassare la tavola per 15 volte (l'altezza di sollevamento è pari a 40 mm ed è garantita dalla presenza di un fermo).

Al termine di questa operazione si misura il diametro finale della focaccia di calcestruzzo in due punti tra loro ortogonali: la media di queste misurazioni costituisce lo *spandimento* del calcestruzzo.



| CLASSE DI CONSISTENZA | DIAMETRO DI SPANDIMENTO (mm) |
|-----------------------|------------------------------|
| F1                    | ≤ 340                        |
| F2                    | 350 - 410                    |
| F3                    | 420 - 480                    |
| F4                    | 490 - 550                    |
| F5                    | 560 - 620                    |
| F6                    | ≥ 630                        |

Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010  
UNI EN 206-1

38/74

## Correlazione tra prove

### Relazione approssimata tra le classi di consistenza

|                              |             |          |             |           |              |
|------------------------------|-------------|----------|-------------|-----------|--------------|
| abbassamento<br>al cono [mm] | S1          | S2       | S3          | S4        | S5           |
|                              | 10 - 40     | 50 - 90  | 100 - 150   | 160 - 210 | ≥ 220        |
|                              | terra umida | plastica | semi fluida | fluida    | super-fluida |

|          |             |             |             |                       |
|----------|-------------|-------------|-------------|-----------------------|
| C0       | C1          | C2          | C3          | compattabilità (Walz) |
| ≥ 1.46   | 1.45 - 1.26 | 1.25 - 1.11 | 1.10 - 1.04 |                       |
| asciutta | terra umida | plastica    | semi fluida |                       |

|                     |             |           |             |           |              |             |
|---------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|--------------|-------------|
| spandimento<br>[mm] | F1          | F2        | F3          | F4        | F5           | F6          |
|                     | ≤ 340       | 350 - 410 | 420 - 480   | 490 - 550 | 560 - 620    | ≥ 630       |
|                     | terra umida | plastica  | semi fluida | fluida    | super-fluida | iper-fluida |

*Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010*

39/74

## Classi di esposizione

La classe di esposizione del calcestruzzo viene specificata mediante classi in accordo a UNI EN 206.

- Assenza di rischio di corrosione (**classe XO**)
- Presenza di rischio di corrosione
  - Indotta dalla carbonatazione (**classe XC**)
  - Indotta da cloruri in ambiente marino (**classe XS**)
  - Indotta da cloruri in ambiente non marino (**classe XD**)
- Attacco del gelo e disgelo (**classe XF**)
- Attacco chimico (**classe XA**)

*Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010*

40/74

## Classi di esposizione

|  |  |
|--|--|
| <b>1 – ASSENZA DI RISCHIO DI CORROSIONE</b>  |  |
| <b>XO</b>  | Per calcestruzzo privo di armatura o inserti metallici: tutte le esposizioni eccetto dove c'è gelo/disgelo, abrasione o attacco chimico.<br>Per calcestruzzo con armatura o inserti metallici: molto asciutto. |
| <b>2 – CORROSIONE INDOTTA DA CARBONATAZIONE</b>  |  |
| Nel caso in cui il calcestruzzo contenente armature o inserti metallici sia esposto all'aria e all'umidità, l'esposizione è classificata secondo il modo seguente.   |  |
| <b>XC1</b>   | Asciutto o permanentemente bagnato   |
| <b>XC2</b>   | Bagnato, raramente asciutto  |
| <b>XC3</b>   | Umidità moderata   |
| <b>XC4</b>   |  |
| <b>3 – CORROSIONE INDOTTA DA CLORURI ESCLUSI QUELLI PROVENIENTI DA ACQUA DI MARE</b>   |  |
| Ove il calcestruzzo contenente armature o altri inserti metallici è soggetto al contatto con acqua contenente cloruri, inclusi i sali antigelo, con origine diversa dall'acqua di mare, l'esposizione è classificata come segue. |  |
| <b>XD1</b>   | Umidità moderata   |
| <b>XD2</b>   | Bagnato, raramente asciutto  |
| <b>XD3</b>   | Ciclicamente bagnato e asciutto  |

*Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010*

41/74

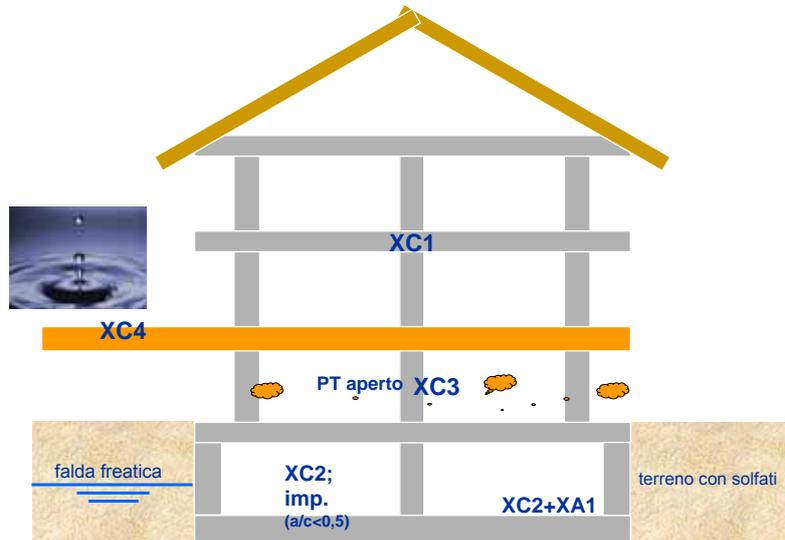
## Classi di esposizione

|   |  |
|---|--|
| <b>4 – CORROSIONE INDOTTA DA CLORURI PRESENTI NELL'ACQUA DI MARE</b>  |  |
| Quando il calcestruzzo contenente armature o altri inserti metallici è soggetto al contatto con cloruri presenti nell'acqua di mare oppure con aria che trasporta sali derivanti dall'acqua di mare, l'esposizione è classificata come segue. |  |
| <b>XS1</b>  | Esposto a nebbia salina ma non in contatto diretto con acqua di mare             |
| <b>XS2</b>  | Permanentemente sommerso   |
| <b>XS3</b>  | Zone esposte alle onde oppure alla marea   |
| <b>5 – ATTACCO DEI CICLI GELO/DISGELO</b>   |  |
| Quando il calcestruzzo bagnato è esposto ad un attacco significativo dovuto a cicli di gelo /disgelo, l'esposizione è classificata come segue.  |  |
| <b>XF1</b>  | Moderata saturazione d'acqua, senza impiego di agente antigelo                   |
| <b>XF2</b>  | Moderata saturazione d'acqua, con impiego di agente antigelo                     |
| <b>XF3</b>  | Elevata saturazione d'acqua, senza impiego di agente antigelo                    |
| <b>XF4</b>  | Elevata saturazione d'acqua, con impiego di agente antigelo oppure acqua di mare |
| <b>6 – ATTACCO CHIMICO</b>  |  |
| Quando il calcestruzzo è esposto all'attacco chimico che si verifica nel terreno naturale e nell'acqua del terreno, l'esposizione è classificata come segue.  |  |
| <b>XA1</b>  | Ambiente chimico debolmente aggressivo   |
| <b>XA2</b>  | Ambiente chimico moderatamente aggressivo  |
| <b>XA3</b>  | Ambiente chimico fortemente aggressivo   |

*Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010*

42/74

## Classi di esposizione XC



Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010

43/74

## Ruolo del rapporto acqua/cemento

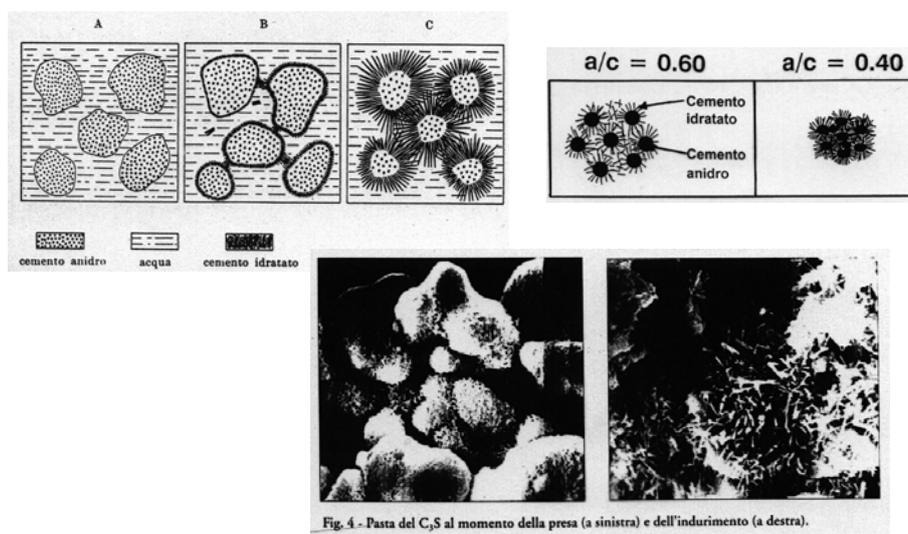


Fig. 4 - Pasta del C,S al momento della presa (a sinistra) e dell'indurimento (a destra).

Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010

44/74

## Attacco chimico o da cloruri

Individuate le tipologie di esposizione, le relative classi di aggressività sono individuate attraverso valori limite dettati dalle normative vigenti (UNI EN 206 – UNI 8981-1, UNI 8981-2, ..., UNI 8981-8).

A titolo d'esempio si riportano i prospetti indicati nelle UNI 8981-2 e UNI 8981-5.

| Classi di aggressività | Nelle acque<br>mg/l          |                  |                              | Nei terreni<br>mg/kg         |
|------------------------|------------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|
|                        | SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> | Mg <sup>++</sup> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> |
| XA1 Bassa              | 200-600                      | 300-1000         | 15-30                        | 2000-3000                    |
| XA2 Moderata           | 600-3000                     | 1000-3000        | 30-60                        | 3000-12000                   |
| XA3 Alta               | > 3000 e ≤ 6000              | > 3000           | > 60 e ≤ 100                 | >12000 e ≤ 24000             |

| Tipi di calcestruzzo e condizioni di esposizione | Ione cloruro ammesso in %, sulla massa del cemento* |
|--|---|
| Calcestruzzo armato in ambiente asciutto         | 1,0   |
| Calcestruzzo armato in ambiente umido            | 0,40  |
| Calcestruzzo precompresso a cavi scorrevoli      | 0,20  |
| Calcestruzzo precompresso a fili aderenti        | 0,10  |

\* Per la malta di iniezione dei cavi, vale quanto stabilito nella UNI EN 447

**Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010**

45/74

## Valori limite raccomandati per la composizione e le proprietà del calcestruzzo

|  | Classi di esposizione                  |                              |        |        |        |                       |        |        |  |        |        |   |                   |                   |                   |   |        |        |
|--|--|------------------------------|--------|--------|--------|-----------------------|--------|--------|--|--------|--------|---|-------------------|-------------------|-------------------|---|--------|--------|
|  | Nessun rischio di corrosione o attacco | Corrosione da carbonatazione |        |        |        | Corrosione da cloruri |        |        |  |        |        | Attacco gelo/disgelo  |                   |                   |                   | Ambienti chimici aggressivi                 |        |        |
|  |  |                              |        |        |        | Acqua marina          |        |        | Altri cloruri (diversi dall'acqua di mare) |        |        |   |                   |                   |                   |   |        |        |
|  | X0                                     | XC1                          | XC2    | XC3    | XC4    | XS1                   | XS2    | XS3    | XD1  | XD2    | XD3    | XF1   | XF2               | XF3               | XF4               | XA1   | XA2    | XA3    |
| Rapporto massimo a/c                             | -                                      | 0.65                         | 0.60   | 0.55   | 0.50   | 0.50                  | 0.45   | 0.45   | 0.55                                       | 0.55   | 0.45   | 0.55  | 0.55              | 0.50              | 0.45              | 0.55  | 0.50   | 0.45   |
| Classe di resistenza minima                      | C12/15                                 | C20/25                       | C25/30 | C30/37 | C30/37 | C30/37                | C35/45 | C35/45 | C30/37                                     | C30/37 | C35/45 | C30/37  | C25/30            | C30/37            | C30/37            | C30/37                                      | C30/37 | C35/45 |
| Contenuto minimo di cemento [kg/m <sup>3</sup> ] | -                                      | 260                          | 280    | 280    | 300    | 300                   | 320    | 340    | 300  | 300    | 320    | 300   | 300               | 320               | 340               | 300   | 320    | 360    |
| Contenuto minimo di aria [%]                     | -                                      | -                            | -      | -      | -      | -                     | -      | -      | -  | -      | -      | -   | 4,0 <sup>a)</sup> | 4,0 <sup>a)</sup> | 4,0 <sup>a)</sup> | -   | -      | -      |
| Altri requisiti                                  |  |                              |        |        |        |                       |        |        |  |        |        | Aggregati conformi al prEN12620:2000 con sufficiente resistenza al gelo/disgelo |                   |                   |                   | Cemento resistente ai solfati <sup>b)</sup> |        |        |

a) Quando il calcestruzzo non contiene aria aggiunta, le sue prestazioni dovrebbero essere verificate conformemente ad un metodo di prova appropriato rispetto ad un calcestruzzo per il quale è provata la resistenza al gelo/disgelo per la relativa classe di esposizione.

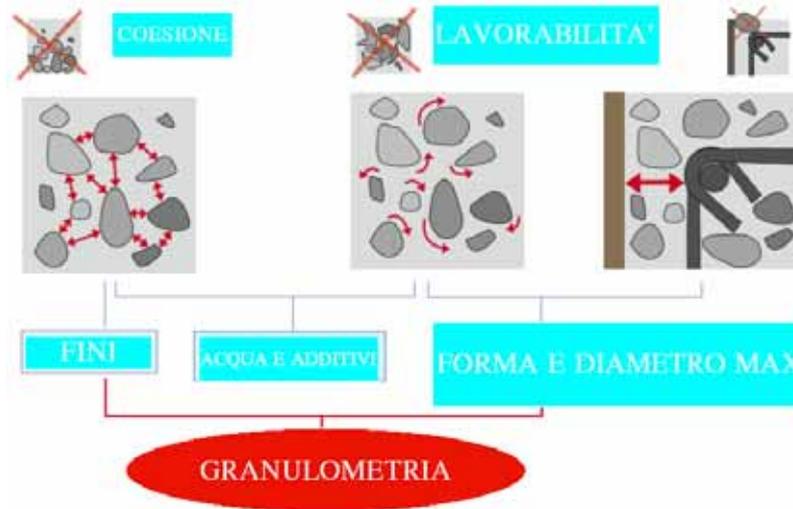
b) Qualora la presenza di SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> comporti le classi di esposizione XA2 e XA3, è essenziale utilizzare un cemento resistente ai solfati. Se il cemento è classificato a moderata o ad alta resistenza ai solfati, il cemento dovrebbe essere utilizzato in classe di esposizione XA2 (e in classe di esposizione XA1 se applicabile) e il cemento ad alta resistenza ai solfati dovrebbe essere utilizzato in classe di esposizione XA3.

I valori si riferiscono all'uso di cemento CEM I 32.5 R e aggregato con  $20 < D_{max} < 32$  mm

**Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010**

46/74

## Richieste prestazionali per il calcestruzzo

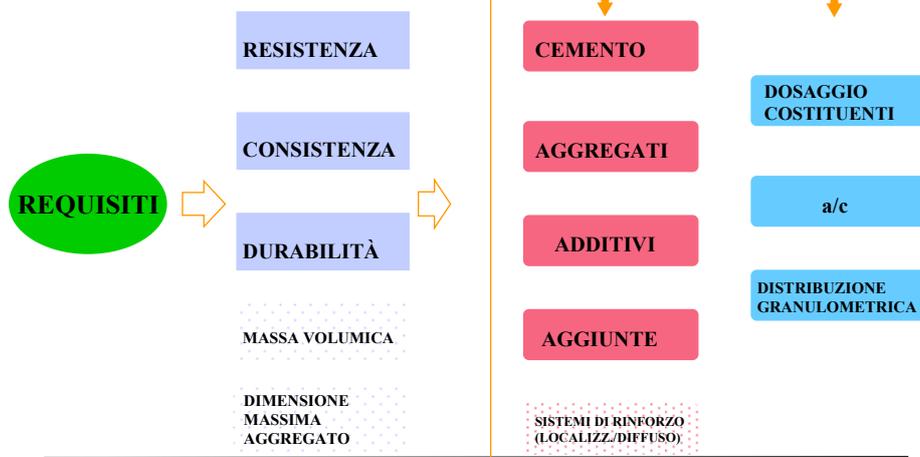


Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010

47/74

## La formulazione del calcestruzzo

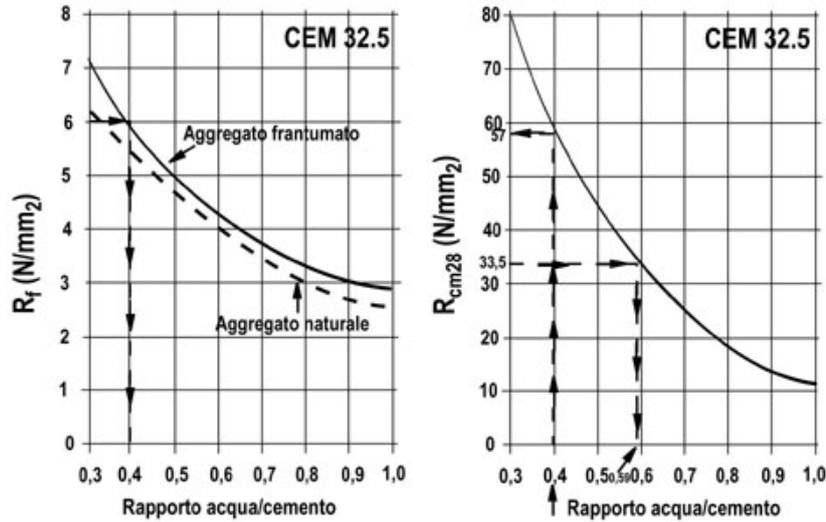
La formulazione del calcestruzzo discende dai requisiti di:



Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010

48/74

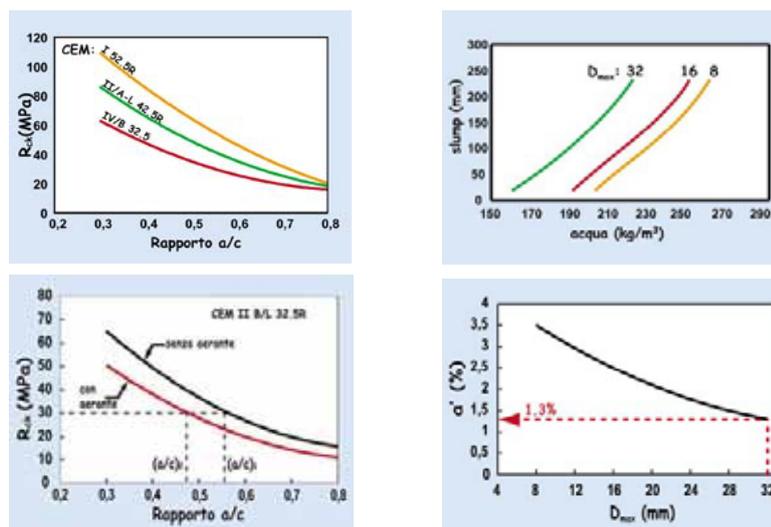
## Resistenza e rapporto a/c



Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010

49/74

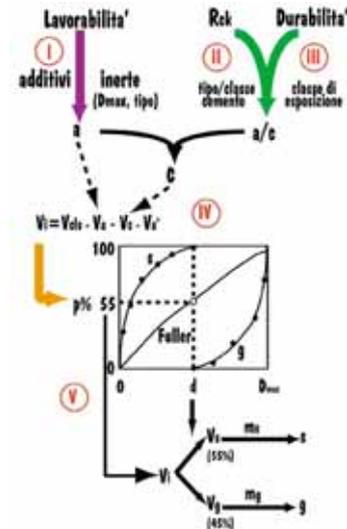
## Fattori che influenzano il mix design



Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010

50/74

## Il progetto della miscela di calcestruzzo



*Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010*

51/74

## Formulazione di un calcestruzzo

### Dati di prescrizione

Consistenza = S4

$R_{ck} = 30$  MPa

Dimensione massima nominale aggregato = 25 mm

Classe di esposizione = XF2

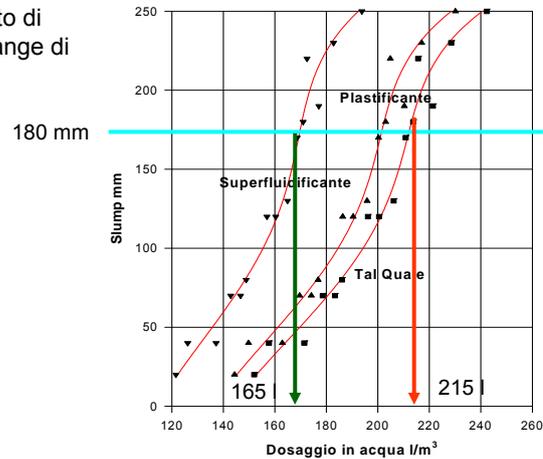
Il produttore prevede di impiegare un cemento CEM II/A-LL 42.5 R.

*Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010*

52/74

## Formulazione di un calcestruzzo

Partendo da un valore richiesto di consistenza, si individua un range di valori di acqua di impasto.

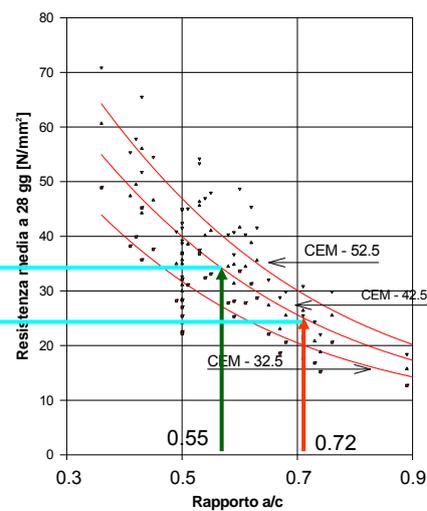
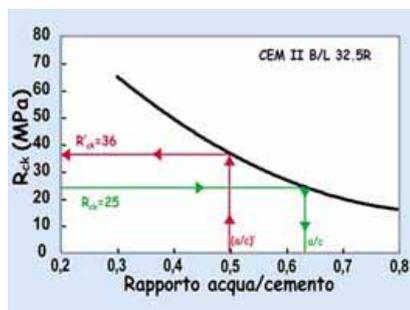


*Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010*

53/74

## Esempio di mix design

Assegnato un valore limite per il dosaggio di cemento in relazione alla prefissata classe di esposizione (es: 300 kg/m<sup>3</sup>) determino un range di valori di rapporti a/c.



*Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010*

54/74

## Formulazione di un calcestruzzo

Un calcestruzzo conforme ai dati di prescrizione può essere ha la seguente composizione indicativa:

Dosaggio cemento =  $300 \text{ kg/m}^3$

Rapporto a/c = 0.55

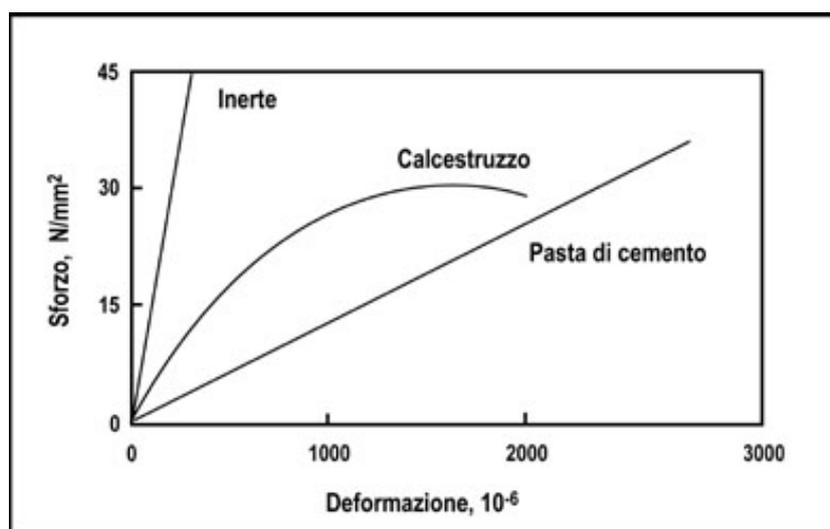
Additivo riduttore d'acqua.

**Le prestazioni effettive devono essere verificate attraverso prove di qualifica e il processo illustrato deve essere eventualmente reiterato**

*Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010*

55/74

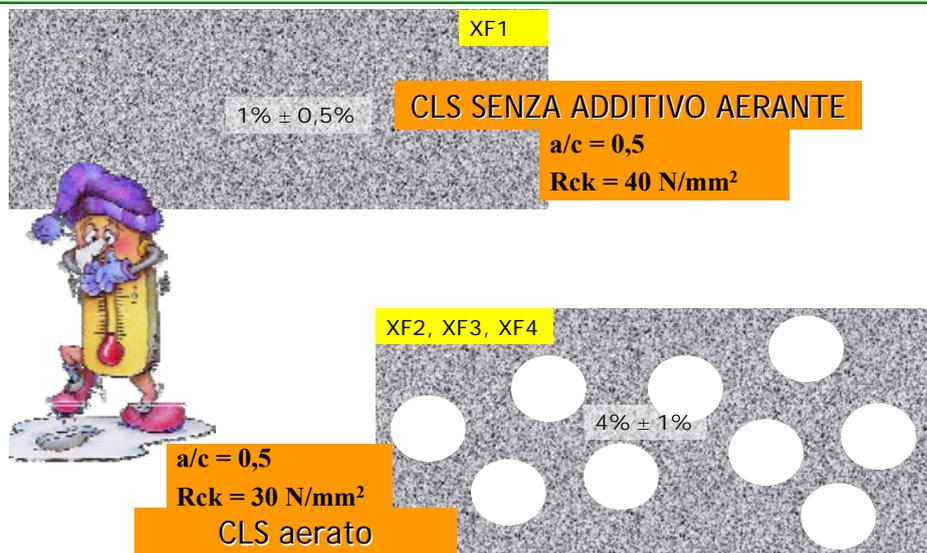
## Modulo elastico



*Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010*

56/74

## Il calcestruzzo in climi freddi



Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010

57/74

## Prescrizioni per il calcestruzzo

### 11.2.1 SPECIFICHE PER IL CALCESTRUZZO

La prescrizione del calcestruzzo all'atto del progetto deve essere caratterizzata almeno mediante la classe di resistenza, la classe di consistenza ed il diametro massimo dell'aggregato. La classe di resistenza è contraddistinta dai valori caratteristici delle resistenze cubica  $R_{ck}$  e cilindrica  $f_{ck}$  a compressione uniaassiale, misurate su provini normalizzati e cioè rispettivamente su cilindri di diametro 150 mm e di altezza 300 mm e su cubi di spigolo 150 mm.

Al fine delle verifiche sperimentali i provini prismatici di base 150×150 mm e di altezza 300 mm sono equiparati ai cilindri di cui sopra.

Al fine di ottenere le prestazioni richieste, si dovranno dare indicazioni in merito alla composizione, ai processi di maturazione ed alle procedure di posa in opera, facendo utile riferimento alla norma UNI ENV 13670-1:2001 ed alle Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo pubblicate dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, nonché dare indicazioni in merito alla composizione della miscela, compresi gli eventuali additivi, tenuto conto anche delle previste classi di esposizione ambientale (di cui, ad esempio, alla norma UNI EN 206-1: 2006) e del requisito di durabilità delle opere.



@ cls a composizione

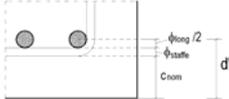
@ cls a prestazione garantita

Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010

58/74

## Dalla parte del progettista

- ➔ **Classe di esposizione ambientale (rif. UNI EN 206-1 e UNI 11104)**  
 si prescrivono i valori di  $C(fck/Rck)$  min, max rapporto a/c, contenuto minimo di cemento
- ➔ **Copriferro minimo**



$c_{nom} [mm] = c_{min} + \Delta c = \max (c_{min,b}; c_{min,dur}; c_{min, fuoco}) + 10$
- ➔ **Classe di Consistenza**  
 si prescrivono i valori della lavorabilità al getto


- ➔ **Dimensione nominale massima degli aggregati**

$D_{max} \leq if - 5mm$   
 $D_{max} \leq 1,3 cf$   
 $D_{max} \leq 1/4 sez min$

} **max 32 mm**     $[D_{max} = 8 - 12 - 16 - 20-22 - 32 - 40 - 63 mm]$  serie 1-2 previste dalla EN 12620
- ➔ **Regole per la messa in opera e la stagionatura dei getti**

*Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010*

59/74

## Prescrizioni per il calcestruzzo preconfezionato

### 11.2.8 PRESCRIZIONI RELATIVE AL CALCESTRUZZO CONFEZIONATO CON PROCESSO INDUSTRIALIZZATO

Per calcestruzzo confezionato con processo industrializzato si intende quello prodotto mediante impianti, strutture e tecniche organizzate sia in cantiere che in uno stabilimento esterno al cantiere stesso.

Gli impianti per la produzione con processo industrializzato del calcestruzzo disciplinato dalle presenti norme devono essere idonei ad una produzione costante, disporre di apparecchiature adeguate per il confezionamento, nonché di personale esperto e di attrezzature idonee a provare, valutare e mantenere la qualità del prodotto.

Gli impianti devono dotarsi di un sistema permanente di controllo interno della produzione allo scopo di assicurare che il prodotto risponda ai requisiti previsti dalle presenti norme e che tale rispondenza sia costantemente mantenuta fino all'impiego.

Il sistema di controllo della produzione di calcestruzzo confezionato con processo industrializzato in impianti di un fornitore, predisposto in coerenza con la norma UNI EN ISO 9001:2000, deve fare riferimento alle specifiche indicazioni contenute nelle Linee guida sul calcestruzzo preconfezionato elaborato dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei LL.PP.

Detto sistema di controllo deve essere certificato da organismi terzi indipendenti che operano in coerenza con la norma UNI CEI EN ISO/IEC 17021:2006, autorizzati dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei LL.PP. sulla base dei criteri di cui al DM 9/5/2003 n. 156.

I documenti che accompagnano ogni fornitura di calcestruzzo confezionato con processo industrializzato devono indicare gli estremi di tale certificazione.

Nel caso in cui l'impianto di produzione industrializzata appartenga al costruttore nell'ambito di uno specifico cantiere, il sistema di gestione della qualità del costruttore, predisposto in coerenza con la norma UNI EN ISO 9001:2000, certificato da un organismo accreditato, deve comprendere l'esistenza e l'applicazione di un sistema di controllo della produzione dell'impianto, conformemente alle specifiche indicazioni contenute nelle Linee Guida sul calcestruzzo preconfezionato elaborato dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei LL.PP.

Il Direttore dei Lavori, che è tenuto a verificare quanto sopra indicato ed a rifiutare le eventuali forniture provenienti da impianti non conformi, dovrà comunque effettuare le prove di accettazione previste al § 11.2.5 e ricevere, prima dell'inizio della fornitura, copia della certificazione del controllo di processo produttivo.

Per produzioni di calcestruzzo inferiori a 1500 m<sup>3</sup> di miscela omogenea, effettuate direttamente in cantiere, mediante processi di produzione temporanei e non industrializzati, la stessa deve essere confezionata sotto la diretta responsabilità del costruttore. Il Direttore dei Lavori deve avere, prima dell'inizio delle forniture, evidenza documentata dei criteri e delle prove che hanno portato alla determinazione della resistenza caratteristica di ciascuna miscela omogenea di conglomerato, così come indicato al § 11.2.3.

*Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010*

60/74

## Confezionamento del calcestruzzo in regime di sistema di qualità G. Plizzari

ENTI TERZI ACCREDITATI  
DAL C.S.LL.PP. AD OGGI :

- ICMQ
- LAB TECNOPROVE
- LAB TECNO PIEMONTE
- RINA
- TUV ITALIA
- BUREAU VERITAS...e molti altri



*Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010*

61/74

## Progettazione del calcestruzzo G. Plizzari



*Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010*

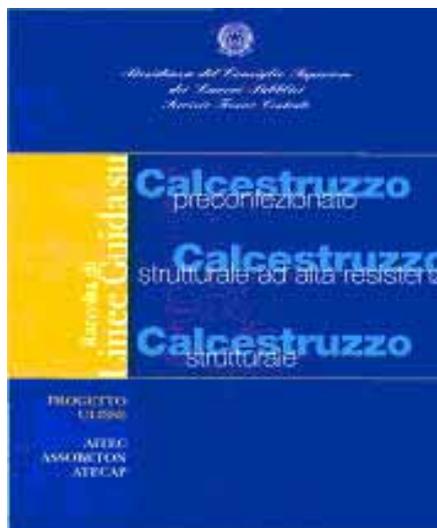
62/74

## L'impianto certificato

### Organizzazione

Il sistema di controllo della produzione si articola principalmente sui seguenti requisiti generali:

- organizzazione aziendale
- prescrizioni per il calcestruzzo
- caratteristiche dell'impianto di betonaggio e del processo produttivo
- controllo di produzione e del prodotto



*Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010*

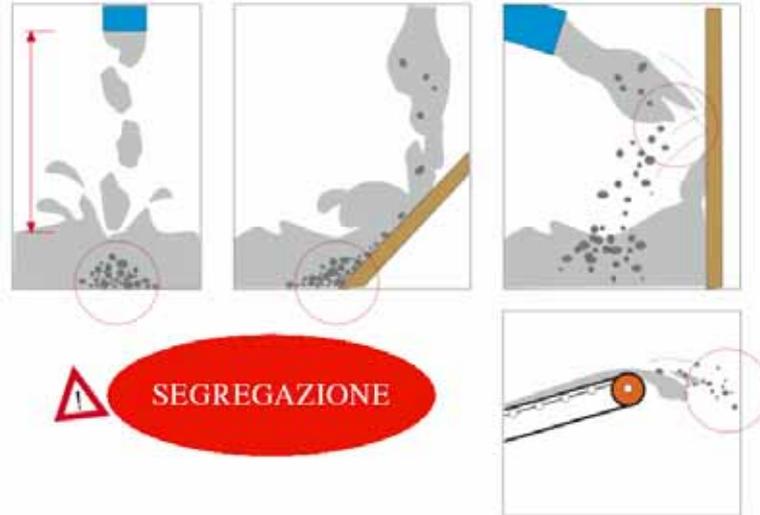
63/74

## Consigli per il cantiere

*Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010*

64/74

## Posa in opera



*Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010*

65/74

## Prescrizioni per la messa in opera (UNI ENV 13670-1 e alle LG posa in opera C.S.LL.PP.)

- tempo max di trasporto
- T° di getto (T superficiale cls e T ambiente)
- casseforme: caratteristiche, pulizia e trattamento, disarmo



*Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010*

66/74

## Prescrizioni per la messa in opera (UNI ENV 13670-1 e alle LG posa in opera C.S.LL.PP.) G. Plizzari

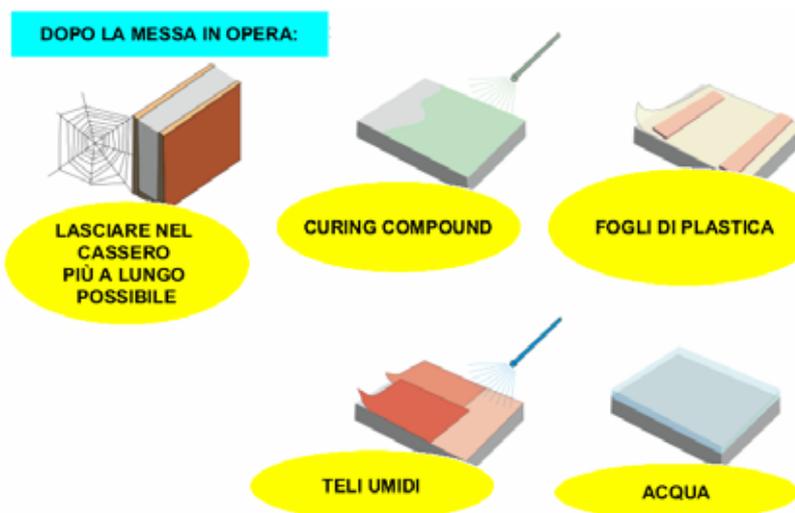
- sistema e  $h_{max}$  caduta libera
- sistemi per la compattazione a rifiuto
- tolleranze esecutive



*Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010*

67/74

## Stagionatura G. Plizzari



*Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010*

68/74

## Confezionamento dei cubetti

| MODALITA' DI PROVA                                     | MOTIVAZIONE   |
|--|---|
| PLANARITA' DELLE FACCE DEI PROVINI E PERPENDICOLARITA' | EVITARE ROTTURE DEL PROVINO PER CONCENTRAZIONI DI SFORZO O PER SFORZI DI TRAZIONE GENERATI DA ECCENTRICITA' DEL CARICO                  |
| COMPATTAZIONE A RIFIUTO DEL CALCESTRUZZO               | ESPULSIONE DELL'ARIA DALL'IMPASTO E RAGGIUNGIMENTO DELLA MASSA VOLUMICA MASSIMA   |
| TRASPORTO DOPO ALMENO 16 h DAL CONFEZIONAMENTO         | EVITARE CHE SI FORMINO MICROFESSURAZIONI NEL CALCESTRUZZO FRESCO PER EFFETTO DEGLI URTI DOVUTI AL TRASPORTO SU STRADE ACCIDENTATE       |
| MATURAZIONE A 20 °C                                    | EVITARE CHE TEMPERATURE COSTANTEMENTE FREDDIE O TEMPERATURE ELEVATE DURANTE I PRIMI GIORNI DAL GETTO PENALIZZINO LA RESISTENZA A 28 GG. |
| MATURAZIONE IN ACQUA O IN AMBIENTE CON U.R.> 95%       | EVITARE LA COMPARSA DI FESSURAZIONI E GARANTIRE UNA CORRETTA IDRATAZIONE DEL CEMENTO  |

*Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010*

69/74

## Ognuno ha il suo compito

| CHI?           | COSA?   | QUANDO?  |
|----------------|---|--|
| PROGETTISTA    | <b>PRESCRIZIONE DI CAPITOLATO</b>   | IN FASE PROGETTUALE                                    |
| IMPRESA e D.L. | ACCERTARE CHE IL PRODUTTORE DI CALCESTRUZZO SIA IN GRADO DI CONSEGUIRE IL VALORE PRESCRITTO DAL PROGETTISTA PER LA $R_{ck}$ | PRIMA DELL'INIZIO DEI LAVORI DI COSTRUZIONE DELL'OPERA |
| D.L.           | CONTROLLI DI ACCETTAZIONE EFFETTUATI CON PRELIEVO DI PROVINI CUBICI AL MOMENTO DELLA CONSEGNA DEL CALCESTRUZZO IN CANTIERE  | PRIMA DEL GETTO DEL CALCESTRUZZO ALLA CONSEGNA         |

*Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010*

70/74

## In sede di costruzione

- ↪ **Controllo copriferri**
- ↪ **Costipazione**
- ↪ **Maturazione**
- ↪ **Particolari costruttivi**

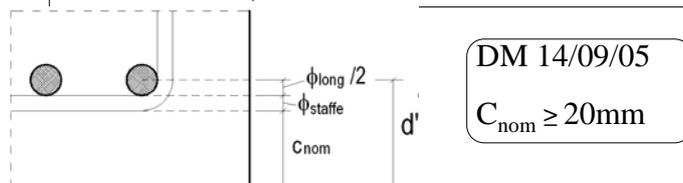
## Spessore del copriferro

Il **copriferro NOMINALE** è la distanza fra la superficie esterna dell'armatura più vicina alla superficie del calcestruzzo e la superficie stessa del calcestruzzo.

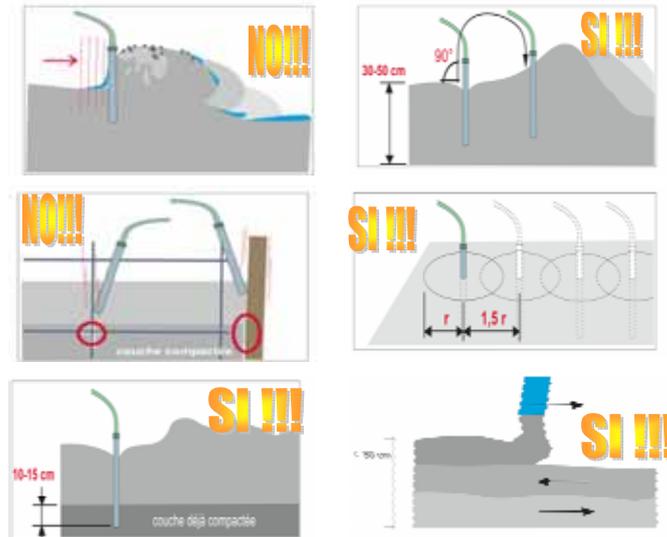
Calcolo secondo [4.4.1. EC2]

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c = \max(c_{min,b}; c_{min,dur}; c_{min,fuoco}) + \Delta c$$

- $c_{min,b}$  = garantisce l'aderenza =  $\Phi * \sqrt{\eta_b}$
- $c_{min,dur}$  = garantisce la durabilità = è funzione delle classi di esposizione ambientale (cfr. EC2)
- $c_{min,fuoco}$  = garantisce la resistenza all'incendio (spessori riportati nel EC2 e nel DM16/02/07)
- $\Delta c$  = tolleranza di posizionamento delle armature = 10mm



## Posa in opera e vibrazione



Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010

73/74

## Città delle scienze - Valencia



Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010

74/74

Grazie per la vostra attenzione!!

---

Nuovi materiali: ristorante submarino - Valencia



*Durabilità e aspetti tecnologici del calcestruzzo – Brescia, 9 febbraio 2010*

75/74